

スギ人工林の間伐が下層植生と訪花に与える影響 —アファンの森と隣接する人工林での観察例—

高槻成紀^{1)*}・望月亜佑子²⁾

Effects of thinning on undergrowth and pollination in a Japanese cedar plantation —A case study at Afan Woodland and the adjacent conifer plantation forest—

Seiki TAKATSUKI^{1)*} and Ayuko MOCHIZUKI²⁾

Abstract

Twenty seven percent of Japan is covered by plantation forests of evergreen conifers. Studies on forestry in Japan have emphasized forest productivity, while biodiversity conservation has not been well studied. The present study tried to find the effects of thinning on undergrowth and pollination in a Japanese cedar plantation. Thinning improved the light condition of the forest floor. SDR (Summed Dominance Ratio) of the undergrowth in the thinned cedar forest was 1.7 times greater than that in the cedar forest without thinning, and 4.5 times greater in the second year. Pioneer shrubs and large forbs typically growing in open habitats greatly increased by thinning. Thinning also increased insect-pollinated flowers and pollinator visits, which were quantitatively similar to those in a deciduous broad-leaved forest. In contrast, no pollination was observed in the cedar forest without thinning. This study suggests that biodiversity is recovered by thinning the Japanese cedar plantation forest.

Key words: biodiversity, forest floor, plantation, pollinator, thinning

(2020年11月23日受付, 2021年3月25日受理, 2022年1月5日発行)

はじめに

木材生産を目的としたスギ (*Cryptomeria japonica*) やヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*) の常緑針葉樹で構成される人工林は本来、下草刈りや間伐、枝打ちなどの管理が行われる。しかし、現在は林業就業者の減少や高齢化などにより、森林管理が以前のおこなわれなくなっている。その結果、生産木の生長に支障をきたすだけでなく、森林機能の低下や生物多様性の低下を引き起こすといわれている (牧野, 2008 ;

林野庁, 2012)。

日本は国土の67%が森林で、そのうち41%が針葉樹人工林であり、その面積は国土の27%にあたる。人工林の面積は戦後から1960年代にかけて増加し、それ以降は横ばいで推移しているが、材積は増加し続けている (今井, 2006)。したがって、今後の人工林では間伐が重要な課題となると考えられる。間伐は残された木のさらなる生長を促すだけでなく、それにより林内が変化し、生物多様性にも変化が生じると考えられる。しかし、これまでの林業は生産性を重視してきたため、人工林の

¹⁾ 麻布大学いのちの博物館 〒252-5201 神奈川県相模原市淵野辺1-17-71

Life Museum of Azabu University, Azabu University; 1-17-71 Fuchinobe, Sagami-hara, Kanagawa, 252-5201 Japan

* Corresponding author: takatuki@azabu-u.ac.jp

²⁾ トヨタ白川郷自然学校 〒501-5620 岐阜県大野郡白川村馬狩223

TOYOTA Shirakawa-Go Eco-Institute; 223 Magari, Shirakawa-mura, Ono-gun, Gifu, 501-5620 Japan

生物多様性についての研究は必ずしも進んでおらず、とくに森林内における昆虫などの小型生物の機能と間伐との関係に関する論文は少ない(岡部, 2008)。

人工林の間伐を行うと、林内が明るくなり、それに伴い林床植物が豊富になることが報告されている(伊東, 2006; 作田ほか, 2009; 横井ほか, 2009; 小谷, 2012; 上森ほか, 2015)。しかしこれまでの調査では林床植物の種数や植物量の報告はあるが、種・種群の特性に着目した研究は少ない。また、間伐は環境を変え、それが林床植物に影響して生育植物の種や量に変化をもたらすだけでなく、その植物を利用する動物にも影響を及ぼす。このことは生物多様性の保全という観点で重要である。その好例として虫媒花と訪花昆虫の関係がある。間伐によって林床に虫媒花植物が増加すれば、それを訪花(受粉・授粉)する昆虫も増加することが予測される。これまでの林業の研究ではこのような視点からの調査は十分に行われてこなかった(ただし Bhujii and Ohsawa, 1999; 長池, 2000)。そこで本調査では長野県にある「アフアの森」に隣接する間伐したスギ人工林(以下、間伐林)と間伐していないスギ人工林を比較することで、間伐による林内の環境変化、下層植物の変化、それに伴う訪花昆虫の変化の一例を観察した。また落葉広葉樹林を伐採して植林を行った群落(以下、伐採地)および伐採を行っていない落葉広葉樹林でも調査を行い、間伐したスギ人工林と比較した(表1)。

方 法

調査地

調査は長野県上水内郡信濃町にある「アフアの森」とそれに隣接する国有林(スギ人工林)でおこなった(図1)。スギ人工林は45年生であり、その一部をアフアの森財団が2011年より国有林側からの依頼を受けて管理するようになった。そこを2012年に間伐し(以下、間伐林)、間伐していない「スギ人工林」と比較した。

比較対象とした「アフアの森」は、以前はササ藪が生い茂る放置林であったが、1986年に故C.W.ニコ



図1 調査地の位置。

ル氏が私有地として取得して以来、森林管理をおこなっており、落葉広葉樹林を主体とした多様な群落が存在する(付記参照)。落葉広葉樹林はコナラ(*Quercus serrata*)を主体とし、伐採地は落葉広葉樹林を伐採してコナラなどの落葉広葉樹を植林している。調査時は植林後、約3年たっている(図2)。

野外調査

上記の目的に対して上記の4群落(間伐林は2年分)において以下の項目を調査し、比較した(表1)。

1. 樹種構成と胸高断面積

スギ人工林、間伐林、落葉広葉樹林で20 m × 20 mの毎木調査区をとり、立木の種名と胸高周を0.5 cmの精度で測定し、断面積を求めた。これをもとにShannon-Wienerの多様度指数H'を算出した。調査区数などは表1にまとめた。樹木密度と断面積は林学関係の論文でha単位で表現されるため、既往論文との比較を考慮して本論文でもhaを使用した(1 ha =

表1 調査項目と年月日、調査努力量(プロット数または距離)。微気象については調査の有無をそれぞれ+と-で示した。

調査項目	調査年月日	スギ人工林	間伐林	落葉広葉樹林	伐採地	サイズ
毎木調査	2014年10月16日	2	1	3	-	20 m × 20 m
微気象	2014年4月から11月まで	+	+	-	-	-
下層植物(積算優占度)	2013年9月26日	2	10	2	-	1 m × 1 m
	2014年6月21日	10	10	5	-	1 m × 1 m
	2014年9月21日	-	-	-	10	1 m × 1 m
下層植物(種数)	2014年6月21日	10	10	10	-	2 m × 2 m
	2014年9月18日	-	-	-	10	2 m × 2 m
訪花昆虫	2014年4月から10月まで	100 m	100 m	125 m	410 m	-

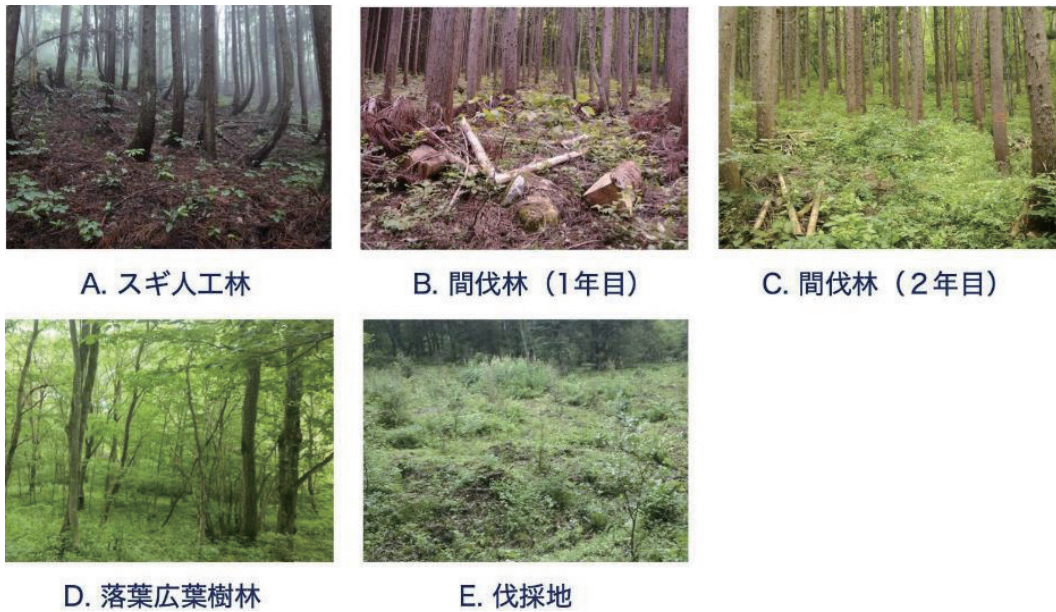


図2 調査した群落の景観.

10,000 m²).

2. 微気象

2014年4月から11月にかけて、スギ人工林と間伐林にT&D製温湿度データロガーTR-72wbとT&D製照度UVレコーダーTR74Uiを設置して気温と照度を測定した。温湿度センサーは地表から高さ5 cmに、照度センサーは地表から15 cmに設置した。測定間隔は1時間に設定した。照度は明るい時間帯である午前9時から17時までの毎時の測定値の月平均値と、各日の最高値の月平均値を求めた。気温と湿度は毎時の測定値の全ての月平均値を求めた。

3. 下層植物

上記4群落（間伐林は1年目と2年目を区別した）で林床群落を記録した。調査は胸高以下の植物について、1 m × 1 mの小方形区内の被度(%)と植物の高さ(cm)を記録した。これから積算優占度（沼田・依田, 1957）を求めた。しかし積算優占度は群落ごとの相対値であるため、群落間の比較ができない。このため、比較する群落間で最大値を示す構成種に対する相対値である「拡張積算優占度」（山本ほか, 1995）を算出して群落間比較をした（以下これを「積算優占度」とした）。調査日とプロット数は表1に記した。出現した植物は生育型と散布型、送粉型によってその構成を比較した。生育型は沼田（1969）を一部改変し、高木、低木、つる植物（木本、草本を含む）、叢生型（イネ科に代表される細長い葉の植物群でカヤツリグサ科も含む）、大型双子葉草本（双子葉草本のうち、高さがほぼ50 cm以上になるもの）、

小型双子葉草本（双子葉草本のうち、高さがほぼ50 cm未満のもの）、単子葉植物（叢生型を除く）、シダ植物に分けた。

散布型は動物被食散布（種子散布の媒体が哺乳類・鳥類の採食によるもの）、動物体外付着（主に哺乳類の毛などに付着して散布されるもの）、アリ散布、貯食散布（齧歯類などに貯食されるもの）、風散布、自動散布（とくに媒体を持たないもの）、散布型が不明なもの、シダ植物の8群に分けた。

送粉型は風媒花、虫媒花、授粉様式が不明なもの、シダ植物に分けた。

また、4つの群落（間伐林は2年分）において2 m × 2 mの小方形区をそれぞれ10個とり、出現種数を群落間でKruskal-Wallis検定により比較し、5%水準で有意差があった場合、Steel-Dwass事後検定により多重比較した。

植物名は原則として米倉・梶田（2003-）に従った（付記参照）。

4. 訪花昆虫

間伐による下層植物の変化が昆虫による訪花に及ぼす影響を明らかにするために、間伐林、スギ人工林、落葉広葉樹林、伐採地の群落内を通過するルート歩き、目視により虫媒花に訪花昆虫がいることが確認されたら、それを記録した。その場合、調査ルートでの開花の記録はとらなかったため、訪花記録がないものには、開花植物がない場合と、開花植物があったが訪花昆虫が記録されなかった場合とがある。この調査は2014年4月から10月までの毎月1回、7月、8月は月に2回おこな

表2 スギ人工林, 間伐林, 落葉広葉樹林の立木の胸高断面積合計値と密度.

樹種	スギ人工林		間伐林		落葉広葉樹林	
	胸高断面積 (m ² /ha)	密度 (/ha)	胸高断面積 (m ² /ha)	密度 (/ha)	胸高断面積 (m ² /ha)	密度 (/ha)
スギ	82.1	1500.0	54.1	775.0	0.0	0.0
コナラ	0.1	12.5	0.0	0.0	11.1	158.3
ヤマザクラ	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	108.3
ダケカンバ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	8.3
その他	0.5	62.5	0.3	150.0	6.3	358.4
合計	82.7	1575.0	54.4	925.0	28.8	633.3

った。ルートの長さは100 mから410 mで(表1), 同日の調査で午前と午後に同じルートを歩き, 昆虫による訪花が確認されれば, その時刻, スタート点からの距離, 植物名, 昆虫名を記録した。観察された昆虫は双翅目, 鱗翅目, 膜翅目(アリは除く), 鞘翅目, その他に分類し, 植物との組み合わせを集計した。得られたデータから調査した距離10 mごとの訪花数(午前と午後の調査ののべ距離を用いた)を求め, 群落ごとに集計した。その結果をKruskal-Wallis検定により比較し, 5%水準で有意差があった場合, Steel-Dwass事後検定により多重比較した。訪花が確認された虫媒花植物の生育地について比較するために, 各種の代表的な生育地を森林, 草原, 水辺, その他の4つに分けた。ゲンノショウコ(*Geranium thunbergii*)のような空き地や路傍などに生育するものは「草原」とした。またタチツボスミレ(*Viola grypoceras*)のように森林でも草原でも生育する種は「その他」とした。

結 果

1. 樹種構成, 胸高断面積

立木密度はスギ人工林では1575本/ha, 間伐林で925本/haで, 間伐林の方が41.3%少なかった(表2)。また胸高断面積合計はスギ人工林が最大の82.7 m²/haで, 間伐林は54.4 m²/haで, スギ人工林の65.9%であった。落葉広葉樹林の胸高断面積合計は小さく, 28.8 m²/haであった。その内訳はスギ人工林と間伐林ではスギが優占していたが, 落葉広葉樹林はコナラ, ヤマザクラ(*Cerasus jamasakura*), ダケカンバ(*Betula ermanii*)などの落葉広葉樹が主体であった。その結果, 多様度指数H'はスギ人工林が0.074, 間伐林が0.052, 落葉広葉樹林が2.451であった。

2. 微気象

スギ人工林の日ごとの照度の月平均は4月には3900 lx程度, 5月には6900 lx程度であったが, 6月以降急に暗くなって7, 8月には1000 lx台になり, 9月以降

は3000 lx台になった後11月に再び減少するという変化を示した。間伐林では4月に6300 lx程度で, その後徐々に減少し, 8, 9月には3000 lx前後, 10, 11月には1500 lx程度になった(図3a)。両者を比較すると, 植物が生育する春から夏にかけて, 5月を除けば間伐林はスギ人工林よりも2~3倍明るかった。

照度の日毎の最大値の月平均値ではスギ人工林と間伐林の違いが非常に大きく, スギ人工林では春を除けば5000 lx未満であったが, 間伐林では春は10,000 lxを上回り, 夏でも8000 lx程度あった(図3b)。

月平均気温は, 間伐林とスギ人工林で同じ季節パターンを示したが, 間伐林の方が1℃ほど暖かかった(図3c)。

月平均湿度は, 春はスギ人工林の方がわずかに高く, それ以降は間伐林の方がやや高かった(図3d)。

このように間伐によって, 環境が変化したが, 明瞭な変化は林床が明るくなったことであった。

3. 下層植生の種数

4カ所の群落における4 m²での種数をもっとも多かったのが間伐林2年目で22.8種, 以下, 間伐林1年目が20.4種, 落葉広葉樹林と伐採地がいずれも18.8種, スギ人工林が最少で9.2種であった。このうち, 有意差があったのはスギ人工林だけで, 他の4群落すべてと有意差があった(Kruskal-Wallis検定, $\chi^2 = 27.01$, $P < 0.001$, Steel-Dwass検定, スギ人工林-間伐林1年目: $t_2 = -3.792$, $P = 0.001$, スギ人工林-間伐林2年目: $t_2 = -3.792$, $P = 0.001$, スギ人工林-落葉広葉樹林: $t_2 = -3.650$, $P = 0.002$, スギ人工林-伐採地: $t_2 = -3.485$, $P = 0.005$)。しかし, そのほかはすべて有意差がなかった。

4. 下層植物の積算優占度

下層植生の積算優占度はスギ人工林でもっとも小さかった(図4a)。積算優占度は間伐1年目の値はスギ人工林のそれよりやや多く, 2年目で2.5倍になった。この値は落葉広葉樹林を上回り, 伐採地に匹敵した。

1) 生育型による類型

生育型組成を見ると、間伐の翌年（2013年）にはスギ人工林に生育していなかったつる植物や叢生型、大型双子葉草本が出現した（図4a）。間伐の2年目（2014年）になると、これらが増加するとともに、低木ではアブラチャン (*Lindera praecox*)、コシアブラ (*Chengiopanax sciadophylloides*)、ユズリハ (*Daphniphyllum macropodum*) など、叢生型ではチヂミザサ (*Oplismenus undulatifolius*) など、大型双子葉草本ではアキカラマツ (*Thalictrum minus* var. *hypoleucum*) などが出現あるいは増加した（付表1）。

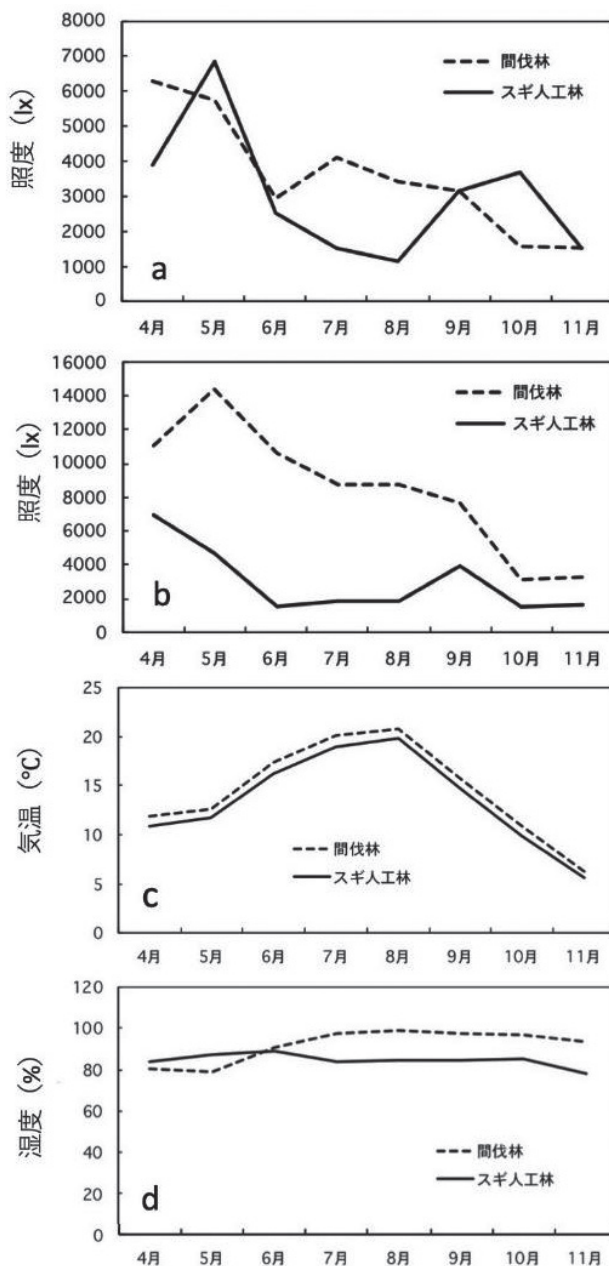


図3 スギ人工林と間伐林の微気象の月平均値の変化。a 照度（明るい時間帯の平均）、b 照度（日最大値の平均）、c 気温、d 湿度。

落葉広葉樹林では、高木ではリョウブ (*Clethra barbinervis*) など、低木ではアブラチャンなど、つる植物ではクワバドコロ (*Dioscorea septemloba*) など、小型双子葉草本ではフキ (*Petasites japonicus*) など、単子葉植物ではツユクサ (*Commelina communis*) など、シダではミゾシダ (*Stegnogramma pozoi* subsp. *mollissima*) などが多かった。

伐採地での生育型の内訳は小型双子葉草本、大型双子葉草本、つる植物、シダなどが多く、いずれも4群落（間伐林は2年分）中で最大であった（図4a）。つる植物ではノブドウ (*Ampelopsis glandulosa* var. *heterophylla*) など、叢生型ではススキ (*Miscanthus sinensis*) など、大型双子葉草本ではヒメジョオン (*Erigeron annuus*)、ヨモギ (*Artemisia indica* var. *maximowiczii*) など、小型双子葉草本ではフキなど、シダではクサソテツ (*Matteuccia struthiopteris*)、シケシダ (*Deparia japonica*) などが多かった。

2) 散布型による類型

間伐林1年目ではスギ人工林と比較して動物被食散布植物、付着散布植物、風散布植物の積算優占度がやや多かった（図4b）。間伐2年目になるとこれらが大幅に増え、特に動物被食散布植物や風散布植物が増えた。落葉広葉樹林は間伐2年目よりも動物被食散布植物が大幅に少なかった。伐採地の積算優占度合計の内訳は大型双子葉植物とシダ植物が多く、動物被食散布植物と高木類が少なかった。

3) 送粉型による類型

間伐林1年目に比較して間伐林2年目には虫媒花植物の積算優占度が著しく増加し、風媒花植物も増えた（図4c）。落葉広葉樹林では間伐2年目より風媒花植物が少なかった。伐採地では虫媒花植物は間伐林2年目、落葉広葉樹林と同程度であったが、風媒花植物は間伐林2年目より少なく、シダは多かった。

5. 訪花

スギ人工林では昆虫による訪花はまったく観察されなかった（表3）。間伐1年目には訪花昆虫は観察されなかったが、2年目（2014年）には訪花が観察された。間伐林で訪花されていた植物には森林生の植物も草原生の植物もあった。このうちトリアシショウマ (*Astilbe odontophylla*) は訪花数が9回/100 m と多かった。落葉広葉樹林でも森林生の植物と草原生の植物があり、草原生のオオバギボウシ（トウギボウシ, *Hosta sieboldiana*）とクサボタン (*Clematis stans*) が5.6回/100 m と多かった。伐採地では草原生の種の訪花数が非常に多かったが、とくにヒメジョオン（77.1回/

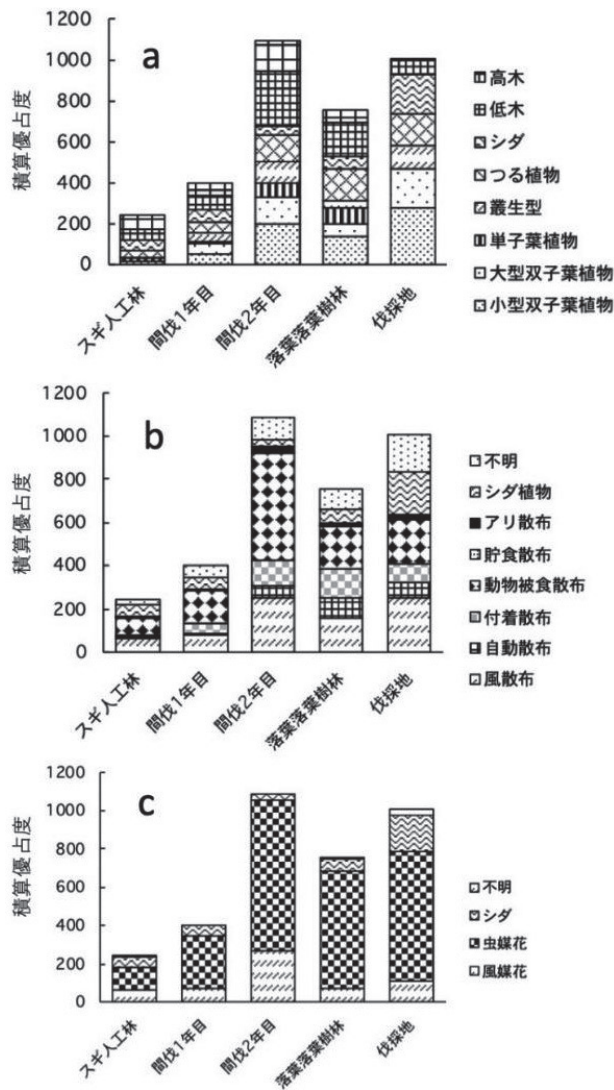


図4 各群落における植物の積算優占度の内訳。 a 生育型ごと、 b 散布型ごと、 c 送粉型ごと。

100 m), フキ (40.2 回 / 100 m), ヒヨドリバナ (19.5 回 / 100 m), オトコエシ (*Patrinia villosa*, 18.3 回 / 100 m) などの訪花数が多かった。

調査期間を通じての訪花頻度は、スギ人工林と間伐林 1 年目ではまったく観察がなく、間伐林 2 年目では 21 回 / 100 m, 落葉広葉樹林が 25.6 回 / 100 m, 伐採地が 214.4 回 / 100 m の順であった (表 4)。訪花頻度は間伐林と落葉広葉樹林の間には有意差がなかったが (Kruskal-Wallis 検定: $\chi^2 = 224.180, P < 0.001$, Steel-Dwass 検定, $t_2 = -0.388, P = 0.920$), 間伐林 (間伐後 2 年目) と伐採地 ($t_2 = -12.149, P < 0.001$), 落葉広葉樹林と伐採地 ($t_2 = -11.790, P < 0.001$) には有意差があった。

群落ごとに昆虫の内訳を見ると、間伐林では双翅目 (42.9 %) と鞘翅目 (33.3 %) が多く、落葉広葉樹林では膜翅目が多く (40.6 %), 伐採地では双翅目が多か

った (44.8 %, 表 4)。

考 察

間伐と下層植生

調査したスギ人工林の胸高断面積合計値は 82.7 m² / ha であり (表 2), スギ人工林として標準的な値であった (大住ほか, 2000; 竹内, 2005)。間伐によってスギが株密度で半減, 胸高断面積ではほぼ 3 分の 2 になり, 林冠が空いて暗かったスギ人工林は明るくなり (図 3a), 気温が少し上昇した (図 3c) と考えられる。これは輻射熱によるのであろう。針葉樹人工林の間伐による同様な環境変化はこれまでも報告がある (斉藤, 1989; 作田ほか, 2009)。間伐の結果, 下層植生の種数, 積算優占度が大きく増加したと考えられる (図 4a ~ 4c)。この調査は 6 月と 9 月に行ったが, 調査地においては, 植物は 3 月下旬から生育を始め, 一気に生長して 6 月上旬には多くの下層植物は地上部の生長をほぼ終える。その後, 一部の春季植物が消失するとか, 生育がその後も徐々に継続して 8 月頃に最大になるものもあるなどの変化はあるが, 本調査で示そうとした, 群落間の下層植物の種組成, 優占度の比較をするには大きな問題はないと考えられる。間伐林 1 年目ではスギ人工林のおよそ 2 倍の種数の下層植生が見られたが, 間伐 1 年目から 2 年目にかけてその種数は増加しなかった。間伐林における下層群落の種組成は, スギ人工林だけではなく, 落葉広葉樹林とも異なる組成を示し, アブラチャンやコシアブラをはじめとする先駆性の低木や, 明るい場所を好む草本類が多かった。積算優占度は伐採 2 年目に大幅に大きくなった。これは, 1 年目にアブラチャンなどの木本類が光環境の好転により増加し, 多年生草本類が 1 年目に発芽して栄養を蓄え, 2 年目で大きく生長したからだと考えられる。林床植物を種子散布のタイプで整理すると, 間伐林 2 年目では, 動物被食散布型の植物が高い割合を占めていた (図 4b)。その積算優占度 (1088.0) はスギ人工林全体 (241.1) や間伐 1 年目全体 (400.2) の値を大きく上回った (図 4b)。間伐林の中に動物被食散布型の果実が結実できるような成木は確認されなかったことから, これら動物被食散布型植物の種子は, 隣接する落葉広葉樹林や他の群落から動物によって運ばれたか, 埋土種子として休眠していた, あるいはその両方の可能性がある。実際, 針葉樹人工林の林床の埋土種子集団は鳥類によって持ち込まれたとする事例が知られている (佐藤ほか, 2003; 平田ほか, 2006)。

間伐と訪花

下層植物の積算優占度は, スギ人工林ではごく少なか

表3 各植物種の訪花頻度（調査ルート10 m ごとの訪花数）。生息地が多様である種は「その他」とした。訪花なし（0）には調査ルートに虫媒花が開花していない場合と、開花していたが訪花昆虫がいなかった場合を含む。

代表的な生育地	種名	スギ人工林	間伐林1年目	間伐林2年目	落葉広葉樹林	伐採地
森林	アオキ	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0
森林	キンミズヒキ	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
森林	アズマイチゲ	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1
森林	ニリンソウ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
森林	サイハイラン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
森林	ナルコユリ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
森林	マユミ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
森林	ウマノミツバ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
森林	ミズタマソウ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
森林	ヤマザクラ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
森林	キツネノボタン	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
森林	ヤマトリカブト	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
草原	トリアシショウマ	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0
草原	ゴマナ	0.0	0.0	0.4	0.0	0.4
草原	オトコエシ	0.0	0.0	0.3	0.0	1.8
草原	イタドリ	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
草原	カシワバハグマ	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0
草原	ヒメジョオン	0.0	0.0	0.1	0.1	7.7
草原	クサボタン	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0
草原	オオバギボウシ	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1
草原	アキカラマツ	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3
草原	フキ	0.0	0.0	0.0	0.2	4.0
草原	ヒヨドリバナ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
草原	セイヨウタンポポ	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
草原	シシウド	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
草原	ノコンギク	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
草原	サラシナショウマ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
草原	メタカラコウ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
草原	アザミ属の1種	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
草原	カラマツソウ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
草原	ニガナ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
草原	オカトラノオ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
草原	ヌカボタデ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
草原	ゲンノショウコ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
草原	ムラサキツメクサ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
草原	ドクダミ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
草原	クサフジ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
草原	ノアザミ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
草原	ミツバツチグリ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
水辺	ツリフネソウ	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0
水辺	ウマノアシガタ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
水辺	ミゾソバ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
水辺	キツリフネ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他	タチツボスミレ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
その他	イヌトウバナ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他	セリ科の1種	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
その他	ヌスビトハギ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	合計	0.0	0.0	2.1	2.6	21.4

ったが、間伐1年目はスギ人工林よりも多く、2年目には落葉広葉樹林や伐採地並みに増加した（図4c）。その内訳はアブラチャン、コシアブラ、ユズリハ、アキカラマツ、ススキなどであり、ススキ（風媒花植物）を除けばいずれも虫媒花植物であった。したがって、間伐は虫媒花を増加させると考えられる。

訪花昆虫の調査をおこなった結果、スギ人工林でも間伐林1年目でも訪花がまったく確認されなかった（表3）。これは、これらの林には少ないながら虫媒花植物はあったが（図4c）、開花していなかったからである。これに対して間伐林2年目では訪花が確認された（表3）。これは、下層植生で虫媒花植物が増加して開花し、

表4 群落ごとの訪花昆虫の訪花頻度（調査ルート10 m ごとの訪花数）. 調査期間の全体平均値.

	スギ人工林		間伐林1年目		間伐林2年目		落葉広葉樹林		伐採地	
	頻度	頻度	頻度	%	頻度	%	頻度	%		
双翅目	0	0	0.9	42.9	0.6	25.0	9.6	44.8		
鱗翅目	0	0	0.1	4.3	0.1	3.1	2.9	13.3		
膜翅目	0	0	0.3	14.3	1.0	40.6	2.2	10.4		
鞘翅目	0	0	0.7	33.3	0.5	18.8	5.5	25.6		
その他	0	0	0.1	4.3	0.3	13	1.3	5.9		
合計	0	0	2.1	100.0	2.6	100	21.4	100		

それらに昆虫が多く誘引された結果であると考えられる。

本調査では調査ルートの長さの制約があったこと、森林内では開花した花数が多くないことなどの理由から訪花昆虫の記録数が多くなかった。また昆虫は目レベルでの識別しかなかった。このため、虫媒花の花の構造と昆虫の口吻の関係など精度の高い解析はできなかった。今後は、人工林の間伐が訪花に及ぼす影響をより高い精度で解析する必要がある。

間伐と生物多様性

針葉樹人工林は針葉樹を肥育することを目的に管理される。しかし、その目的だけが重視されると、林内の生物多様性が貧弱になる可能性がある。これは森林の総体を保全するという点からすれば、狭義の経済性に偏った、バランスを欠いたものといえる。針葉樹人工林が国土の27%を占めることを考えれば、重大な問題といえる。

本調査によって、放置されていたスギ人工林を間伐すれば下層植生が豊富になって虫媒花植物が開花し、そこに吸蜜に来る昆虫も増える可能性が示された。生物多様性が貧弱であると考えられていたスギ人工林でも間伐により多くの植物が出現し、訪花が見られたことは驚くべきことであった。このことは、スギ人工林にも、植生とそれに伴う生物多様性機能が回復する可能性があることを示唆する。本調査は長野県における1例ではあるが、今後、同様な研究例が増えることでこのことが確認されることを期待したい。

要 旨

我が国の国土の27%は針葉樹人工林に占められている。林学研究は森林の生産性に力点がおかれ、生物多様性に対する注目度は低かった。本研究は長野県信濃町黒姫のスギ人工林の間伐が林内の気象などの環境要素、下層植生とその花への昆虫の訪花に及ぼす影響を調べた。間伐によって森林の下層部は明るくなった。間伐を行っていないスギ人工林に比べて間伐林では下層植生の積算優占度が1年目に1.7倍と多く、2年目に4.5倍に増加した。間伐林では先駆性の低木と大型双子葉草本が多か

った。また虫媒花植物と訪花数も落葉広葉樹林と同レベルであった。これに対してスギ人工林では訪花昆虫はまったく観察されなかった。本研究はスギ人工林の生物多様性と訪花が間伐によって改善される可能性を示した。キーワード：間伐、人工林、生物多様性、訪花昆虫

謝 辞

本研究を行うにあたり、一般財団法人C.W.ニコル・アフアンの森財団皆様方には調査を許可いただくとともに便宜を図っていただきました。とくに理事長（当時）のC.W.ニコル氏は本研究に興味を示され、林の管理の仕方によって生物多様性機能が回復することを大いに喜んでくださいました。しかし本論文執筆中の2020年4月3日に永眠されました。これまでのご厚情に感謝するとともにご冥福をお祈りします。同財団の嶋本祐子氏（当時）には調査を行うに当たり便宜を図って頂き、石井敦司様には、人工林や森林管理の方法をご教授頂きました。麻布大学野生動物研究室の岩田翠さん、鷺田茜さん、土屋若葉さんには野外調査を手伝っていただきました。以上の皆様にお礼申し上げます。

文 献

Bhujii, D. and Ohsawa, M. (1999) Species dynamics and colonization patterns in an abandoned forest in an urban landscape. *Ecological Research*, **14**, 139–153.
 平田 令子・畑 邦彦・曾根晃一 (2006) 果実食性鳥類の糞の分析と針葉樹人工林への種子散布. *日本鳥学会誌*, **58**, 187–191.
 今井 久 (2006) わが国の森林・林業の現状に関する調査研究. *ハザマ研究年報*, **38**, 1–14.
 伊東宏樹 (2006) 京都近郊のスギ人工林における間伐後の下層植生. *森林応用研究*, **15**, 83–86.
 小谷二郎 (2012) 過密な針葉樹人工林に対する郷土間伐が下層植生の多様性に与える影響. *石川県林試研報*, **44**, 39–41.
 牧野俊一 (2008) 林業地域における生物多様性保全技術. 大河内勇 (編), *森林タイプ・林齢と生物多様性との関係*. 林業科学技術振興所, 東京, pp. 35–42.
 長池卓男 (2000) 人工林生態系における植物種多様性. *日本林学会誌*, **82**, 407–416.

- 沼田 真 (1969) 図説植物生態学. 朝倉書店, 東京, 286p.
- 沼田 真・依田恭二 (1957) 人工林草地の群落構造と遷移 I. 日本草地学会誌, **3**, 4–11.
- 岡部貴美子 (2008) 林業地域における生物多様性保全技術. 大河内 勇 (編), 人工林の間伐と生物多様性との関係. 林業科学技術振興所, 東京, pp. 35–42.
- 大住克博・森麻須夫・桜井尚武・斎藤勝郎・関 剛 (2000) 秋田地方で記録された高齢なスギ人工林の成長過程. 日本林学会誌, **82**, 179–187.
- 林野庁 (2012) 平成 24 年度 森林・林業白書. 林野庁, 東京, 284p.
- 斉藤昌宏 (1989) スギ人工林における林内日射量と林床植生量の関係. 日本森林学会誌, **71**, 276–280.
- 作田耕太郎・谷口 奨・溝上展也 (2009) ヒノキ人工林における帯状伐採が林床の微気象と樹木種の多様性に与える影響. 日本森林学会誌, **91**, 86–93.
- 佐藤重穂・酒井 敦 (2003) 鳥類による種子散布が針葉樹人工林伐採跡地の植生回復に果たす役割. 森林応用研究, **12**, 23–28.
- 竹内郁雄 (2005) スギ高齢人工林における胸高直径成長と林分材積成長. 日本林業学会誌, **87**, 394–401.
- 上森真広・小林徹哉・辻野智之・幸田良介 (2015) 大阪府内のスギ・ヒノキ人工林における間伐前後の光環境と下層植生の変化. 大阪府立環境農林水産総合研究所研究報告, **2**, 16–18.
- 山本嘉人・桐田博充・大賀宣彦・斎藤吉満 (1995) 草地植生の比較を目的とした拡張積算優占度の提案. 日本草地学会誌,

41, 37–41.

- 横井秀一・井川原弘一・渡邊仁志 (2009) 下層植生が衰退したヒノキ人工林における間伐後 2 年後の下層植生の変化—下層植生の発達に対する群状の間伐と強度な間伐の効果—. 岐阜県森林研究所研究報告, **38**, 17–26.

付 記

- C.W. ニコル・アフアンの森財団ホームページ,
[<https://afan.or.jp>] 2021 年 3 月 1 日確認
「BG Plants 和名—学名インデックス」(YList),
[<http://ylist.info>] 2021 年 3 月 11 日確認

追記

本稿の「はじめに」にわが国の林業が材木生産を重視するあまり生物多様性保全を軽視しており, その点を見直す意味で間伐が訪花昆虫に及ぼす影響を調べたと記した. これは大局的に間違いではないが, 論文原稿が受理された後に, わが国の林業でも生物多様性保全を見直す強い動きが始まっていることを知った (柿澤ほか, 2018). 柿澤ほか (2018) によれば間伐の効果などを含め, 大規模な実験が行われ, 特に鳥類の多様性などについて活発な研究が進められているようである.

- 柿澤宏昭・山浦悠一・栗山浩一 (編) (2018) 保持林業—木を伐りながら生き物を守る. 築地書館. 372 p.

付表1 出現植物の生育型，散布型，送粉型と各群落における平均積算優占度。

植物名	生育型	散布型	送粉型	大塚人工林	開伐1年目	開伐2年目	商業産葉樹林	伐後地
ウリカエデ	高木	風散布	風媒花	25.0	0	0	0	0
ウリカエデ	高木	風散布	風媒花	10.3	10.8	11.8	0	1.1
ホトメスズ	高木	風散布	風媒花	0	0	0	6.6	0
クマノスズキ	高木	動物糞食散布	虫媒花	0	6.7	27.5	0	0
クワ	高木	貯食散布	虫媒花	0	0	14.2	0	0
コナラ	高木	貯食散布	風媒花	1.1	0	0	1.9	0
コハウチワカエデ	高木	風散布	風媒花	0	10.8	0	0	0
コブシ	高木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	1.9	0
ハナミズキ	高木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	5.8	0	0
ヒトツバキ	高木	風散布	風媒花	21.9	0	11.3	0	0
ヤマブキ	高木	動物糞食散布	虫媒花	1.1	17.5	39.0	8.6	7.5
ヤマザクラ	高木	動物糞食散布	虫媒花	0	17.5	8.8	0	0
リウウ	高木	風散布	虫媒花	8.8	0	26.3	40.2	0
アオキ	低木	動物糞食散布	虫媒花	13.4	21.7	17.3	0	0
アキナギ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	21.1	0
アブラチャン	低木	動物糞食散布	虫媒花	17.7	10.8	68.4	43.3	1.1
イボタノキ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	4.7
ガマズミ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	16.9
クマイチゴ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	9.3
クロモジ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	26.7	0	0
コシアカツバ	低木	不明	不明	0	0	0	0	1.1
ヒメアブラ	低木	動物糞食散布	虫媒花	16.8	0	51.8	0	0
スズ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	19.6
タニウツギ	低木	風散布	虫媒花	0	0	10.0	21.7	0
タラシ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	17.1	24.0	0	0
フルクダ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	21.1	0
ナツシロイチゴ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	18.3
アヲソウ	低木	不明	不明	0	6.7	0	0	1.1
ハナノキ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	6.7	0	0	0
フユイチゴ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	6.7	0	0	0
マユミ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	8.8	0
ミヅハコ	低木	自動散布	虫媒花	0	0	0	34.2	0
ミヤマニオイデ	低木	動物糞食散布	虫媒花	0	0	10.8	15.0	0
ユズハ	低木	動物糞食散布	風媒花	0	0	62.5	0	0
ツツナ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	8.3	0	2.8
アケビ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	23.3	13.3
イワガラミ	つる植物	自動散布	虫媒花	0	0	7.1	-	0
キクハダコロ	つる植物	風散布	虫媒花	0	0	0	53.3	0
キリン	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	4.7
クサナヅ	つる植物	不明	不明	0	0	0	4.2	17.8
クマナナ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	10.8	10.3
サルトリイバラ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	5.8	0	0
サルナシ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	46.7	0	0	0
シオダ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	1.1	0	0
スイカズラ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	1.9
ツツシロ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	3.3	0	17.6	10.8	0
ツツシロ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	6.7	0	13.0	0	0
ツツシロ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	1.9
ツツシロ	つる植物	動物糞食散布	風媒花	1.1	0	23.8	0	0
ツツシロ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	1.1	0
ノブドウ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	5.4	0	15.4	0	57.5
ヒトリジョウゴ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	0	17.2
フジ	つる植物	自動散布	虫媒花	0	0	0	20.0	0
ツツシロ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	0	6.7	0	13.3	14.7
ツツシロ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	6.7	0	8.8	16.7	17.8
ヤマブキ	つる植物	自動散布	虫媒花	5.4	0	0	1.1	0
ヤマノイモ	つる植物	風散布	虫媒花	0	0	1.9	1.1	2.8
ヤマブドウ	つる植物	動物糞食散布	虫媒花	1.1	0	31.9	0	0
アオダマ	叢生型	不明	風媒花	0	6.7	0	0	6.7
オウゴン	叢生型	自動散布	風媒花	0	0	13.3	0	0
オウゴン	叢生型	自動散布	風媒花	0	0	27.2	38.3	24.2
スズキ	叢生型	風散布	風媒花	0	0	0	0	51.3
チヂミザサ	叢生型	付着散布	風媒花	4.4	29.4	60.1	0	16.7
スズキ	叢生型	不明	風媒花	0	0	0	0	6.7
ヒメカサネ	叢生型	自動散布	風媒花	0	6.7	0	0	0
ヤマブドウ	叢生型	不明	風媒花	0	0	0	0	1.1
アサノ	大型双子葉草本	風散布	風媒花	0	27.5	0	14.6	11.1
アキカマツ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	40.8	0	0
アサノ	大型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	0	1.1	0	0
アレチマツヨイグサ	大型双子葉草本	不明	虫媒花	0	0	0	0	24.8
イタドリ	大型双子葉草本	不明	虫媒花	0	0	0	0	25.8
ササノ	大型双子葉草本	不明	虫媒花	0	0	0	23.3	-
ササノ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	17.3	16.9	11.1
トリアシユマ	大型双子葉草本	不明	虫媒花	0	6.7	0	0	0
ハタアザミ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	0	0	33.3
ヒメシロ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	5.4	1.9	0	48.8
ヒトリハナ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	46.7	37.3	0	0
ヨツハシドリ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	8.8	0	0
ヨツハシ	大型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	0	0	62.1
オウゴン	小型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	15.0	4.6	-
アリハコグサ	小型双子葉草本	不明	風媒花	0	5.4	8.6	-	-
イヌビロ	小型双子葉草本	自動散布	虫媒花	0	0	0	0	7.5
イヌビロ	小型双子葉草本	不明	虫媒花	0	0	0	0	21.7
イヌビロ	小型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	0	0	0	16.9
ウマノコ	小型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	0	13.3	6.5	1.1
オウゴン	小型双子葉草本	不明	虫媒花	0	0	0	0	12.9
オウゴン	小型双子葉草本	付着散布	風媒花	0	0	8.8	0	0
オウゴン	小型双子葉草本	不明	虫媒花	0	6.7	24.4	0	0
オウゴン	小型双子葉草本	不明	虫媒花	0	6.7	12.2	0	2.8
オウゴン	小型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	30.0	0	0
カタバ	小型双子葉草本	自動散布	虫媒花	0	0	0	0	5.0
カタバ	小型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	0	1.9	0
カタバ	小型双子葉草本	不明	虫媒花	0	0	0	0	8.6
カタバ	小型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	0	0	0	5.0
ガンシヨウ	小型双子葉草本	自動散布	虫媒花	0	0	0	0	16.3
コナシ	小型双子葉草本	不明	虫媒花	0	6.7	1.9	0	17.8
スズ	小型双子葉草本	自動散布	虫媒花	0	0	0	0	11.7
セイヨウハコ	小型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	0	0	19.4
シロハコ	小型双子葉草本	付着散布	虫媒花	5.4	6.7	0	0	26.1
チヂミ	小型双子葉草本	不明	虫媒花	0	0	0	0	1.1
ドクダミ	小型双子葉草本	付着散布	不明	2.1	0	0	8.6	0
トリアシユマ	小型双子葉草本	動物糞食散布	虫媒花	6.7	0	0	0	0
スズ	小型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	10.8	15.4	0	0
ノボリ	小型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	0	0	8.8
ノボリ	小型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	1.1	0	0
ノボリ	小型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	0	19.2	66.7	47.9
ノボリ	小型双子葉草本	動物糞食散布	虫媒花	0	0	26.4	0	0
ノボリ	小型双子葉草本	不明	虫媒花	0	0	0	0	13.0
ノボリ	小型双子葉草本	不明	虫媒花	0	0	7.2	0	0
ノボリ	小型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	5.4	1.9	41.6	9.4
ノボリ	小型双子葉草本	不明	虫媒花	0	0	0	0	8.6
ノボリ	小型双子葉草本	風散布	虫媒花	0	0	0	0	12.5
ノボリ	小型双子葉草本	不明	虫媒花	1.1	0	8.6	0	0
ノボリ	小型双子葉草本	付着散布	虫媒花	0	0	0	5.4	0
ノボリ	単子葉植物	風散布	虫媒花	0	0	30.0	0	0
ノボリ	単子葉植物	不明	虫媒花	0	0	-	10.8	0
ノボリ	単子葉植物	不明	虫媒花	16.7	6.7	39.1	53.3	0
ノボリ	単子葉植物	動物糞食散布	虫媒花	0	0	0	14.2	0
シダ	シダ	シダ	シダ	33.3	0	10.8	0	0
シダ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	0	40.0
シダ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	0	42.5
シダ	シダ	シダ	シダ	1.1	0	0	0	8.6
シダ	シダ	シダ	シダ	4.4	0	0	0	0
シダ	シダ	シダ	シダ	0	10.8	25.8	0	0
シダ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	1.1	9.3
シダ	シダ	シダ	シダ	15.8	0	0	0	0
シダ	シダ	シダ	シダ	0	10.8	0	0	0
シダ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	16.9	0
シダ	シダ	シダ	シダ	0	25.0	0	0	0
シダ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	0	18.3
シダ	シダ	シダ	シダ	4.4	0	0	0	26.1
シダ	シダ	シダ	シダ	0	10.8	0	45.8	0
シダ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	0	9.6
シダ	シダ	シダ	シダ	0	0	0	0	35.8